

**TUGAS AKHIR**

**ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS  
NETRAL DAN LOSSES PADA TRAF0 200 KVA**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**AHMAD RIZKI**  
**1507220002**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2021**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini di ajukan oleh:

Nama : Ahmad Rizki

NPM : 1507220002

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo 200 KVA

Telah berhasil di pertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Maret 2021

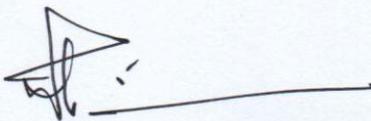
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen pembimbing I



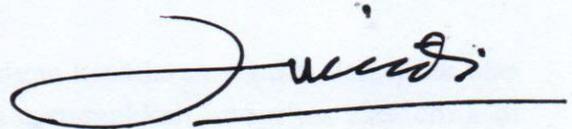
**Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T**

Dosen Pembanding I



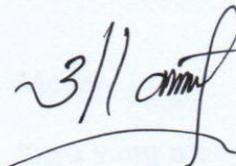
**Ir. Abdul Azis.H.M.M**

Dosen pembimbing II



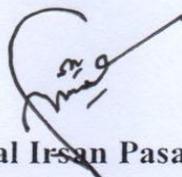
**Ir. Yusniati M.T**

Dosen Pembanding II



**DR.M.Fitra Zambak.S.T.M.Sc**

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Faisal Irsan Pasaribu.S.T.M.T**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ahmad Rizki

Tempat/Tanggal Lahir: Koto Panjang / 23 Oktober 1993

NPM : 1507220002

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

**“Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo 200 KVA”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material ataupun segala kemungkinan lainnya, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 2021

Saya yang menyatakan,



Ahmad Rizki

## ABSTRAK

*Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut timbullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar, dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula.*

*Kata kunci : Trafo, Fasa, Rugi-Rugi, Tidak Seimbang*

## KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “**ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAF0 200 KVA**” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Orangtua penulis Ismail dan Nurkhairiah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
2. Bapak Ir.Zul Arsil Siregar selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ir.Yusniati, M.T selaku Dosen Pimbimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu.S.T.M.T sebagai pembimbing pengganti pembimbing satu yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Ir. Abdul Azis.H.M.M selaku Dosen Pembanding I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak DR.M.Fitra Zambak.S.T.M.Sc, selaku Dosen Pembanding II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Rekan-rekan sejawat seperjuangan di stambuk 15 dan kawan-kawan yang turut serta andil dalam penulisan ini dan tidak mungkin namanya saya sebutkan satu per satu.

Laporan tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Elekktro.

Medan, 29 April 2021

Penulis,



Ahmad Rizki

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan .....	5
2.2 Transformator .....	6
2.2.1 Prinsip Kerja Transformator .....	7
2.3 Ketidakseimbangan Beban .....	9
2.4 Arus Netral .....	12
2.4.1 Arus Netral Karena Beban Tidak Seimbang .....	12
2.4.2 Penyaluran Dan Susut Daya Pada Keadaan Arus Seimbang ..	13

2.4.3 Penyaluran Dan Susut Daya Pada Keadaan Tidak Arus Seimbang.....	15
2.5 Segitiga Daya .....	16
2.5.1 Daya Kompleks.....	16
2.5.2 Daya Aktif.....	17
2.5.3 Daya Reaktif .....	17
2.6 Faktor Daya.....	17
2.6.1 Faktor Daya Terbelakang .....	18
2.6.2 Faktor Daya Mendahului .....	19
2.7 Losses Pada Jaringan Distribusi .....	19
2.7.1 Losses Pada Penghantar Fasa .....	20
2.6.2 Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Fasa ....	20
2.7.3 Losses Akibat Adanya Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah .....	21
2.7.4 Losses Pada Sambungan Tidak Baik .....	21
2.8 Persamaan-Persamaan Yang Digunakan Dalam Perhitungan .....	22
2.8.1 Penghitungan Arus Beban Penuh Dan Arus Hubung Singkat .....	22
2.8.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban .....	23
2.8.3 Perhitungan Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral .....	24
2.8.4 Losses Akibat Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah .....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	26
3.2 Peralatan Penelitian .....	27

3.3 Jenis Data Penelitian .....	28
3.3.1 Studi Literatur .....	28
3.3.2 Pengumpulan Data Materi .....	29
3.3.2.1 Data Teknis Trafo Distribusi 200 KVA .....	29
3.3.2.2 Pengukuran Trafo Distribusi 200 KVA .....	30
3.3.3 Perhitungan .....	31
3.3.4 Penyusunan Laporan .....	31
3.4 Prosedur penelitian .....	32
3.5 Jalannya Penelitian .....	32
3.6 Sumber Data .....	33
3.7 Teknik Analisa Data .....	33
3.8 Bagan Alir Penelitian .....	34
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Analisa Data .....	35
4.1.1 Menentukan Fuse Cut Out .....	35
4.1.2 Menentukan NH Fuse .....	35
4.1.3 Menentukan Arus Hubung Singkat .....	36
4.1.4 Menentukan Persentase Pembebanan .....	36
4.1.5 Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo .....	38
4.1.6 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo .....	41
4.1.7 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah .....	43

<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	46

**Daftar Pustaka**

**Lampiran**

**DAFTAR TABEL**

	<b>Halaman</b>
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian .....	26
Tabel 3.2 Data Teknis Trafo Distribusi 200 KVA .....	29
Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Trafo Distribusi 200 KVA .....	30
Tabel 4.1 Losses Pada Trafo Distribusi .....	44

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang .....	10
Gambar 2.2 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang .....	11
Gambar 2.3 Diagram Fasor Tegangan Saluran Daya Model Fasa Tunggal ....	15
Gambar 2.4 Segitiga Daya .....	18
Gambar 2.5 Arus Tertinggal Dari Tegangan .....	18
Gambar 2.6 Arus Mendahului Tegangan .....	19
Gambar 2.7 Sambungan Kabel.....	21
Gambar 3.1 Tang Ampere .....	27
Gambar 3.2 Earth Tester.....	27
Gambar 3.3 Handphone Dan Buku.....	28
Gambar 3.4 Laptop .....	28
Gambar 3.5 Flowchart .....	34

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Salah satunya adalah pembangunan di sektor industri. Hal ini merupakan langkah penting yang harus ditempuh dalam era globalisasi. Dalam era globalisasi ini Indonesia dituntut untuk dapat bersaing dengan bangsa lain, termasuk bersaing dalam bidang industri yang pada akhirnya akan meningkatkan devisa negara. Peningkatan di sektor industri ini menuntut adanya kesiapan sumber daya yang memadai, baik dari sumber daya alam maupun sumber energi[1].

Pengembangan sumber energi untuk memperoleh kerja yang berguna adalah kunci dari kemajuan industri yang penting untuk peningkatan taraf hidup yang berkesinambungan bagi rakyat di mana pun mereka berada. Bagaimana menemukan sumber energi yang baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi di mana saja diperlukan, dan mengubah energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, serta menggunakannya tanpa menimbulkan pencemaran yang akan merusak lingkungan hidup kita, adalah beberapa dari tantangan-tantangan terbesar yang dihadapi dunia pada masa kini. Sistem tenaga listrik adalah salah satu dari alat-alat untuk mengubah dan memindahkan energi yang mempunyai peranan yang sangat penting dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut[2].

Dan dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidaksamaan waktu terhubung beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang

berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidaksamaan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S dan T juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi. Ketidakseimbangan beban adalah hal yang menimbulkan *losses* secara teknis, yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Setelah dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar, dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula[3].

Arus listrik akan selalu mengalir ke tanah (ground), karena tanah memiliki potensial tegangan yang paling rendah. Jadi bila kita berdiri di atas tanah dan menyentuh atau memegang penghantar listrik yang aktif, maka tubuh kita merupakan penghantar listrik yang memungkinkan arus listrik mengalir melewati tubuh dari tangan ke kaki dan akhirnya ke tanah. Pentanahan atau grounding adalah salah satu bagian dari instalasi listrik, yang menghubungkan rangka mesin atau peralatan listrik ke tanah melalui suatu kabel penghantar menuju ke pentanahan. Dalam kondisi yang sederhana, elektroda pentanahan dapat berupa pipa galvanis dengan panjang satu hingga dua meter yang ditanamkan ke dalam tanah.[4]

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dikemukakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui berapakah presentase ketidakseimbangan beban terhadap arus netral transformator 200 KVA?
2. Mengetahui berapakah losses yang ditimbulkan karena ketidakseimbangan beban pada transformator 200 KVA?

### **1.3 Pembatasan Masalah**

Pada penyusunan tugas akhir ini, penulis membatasi masalah yang akan di bahas yakni:

1. Penulis hanya melakukan pengukuran pembebanan trafo 200 KVA
2. Penulis Menganalisa ketidakseimbangan beban pada trafo 200 KVA
3. Penulis hanya menganalisa *losses* arus netral pada penghantar netral 200 KVA
4. Penulis hanya menganalisa *losses* arus netral yang mengalir ke tanah
5. Penulis tidak membahas jenis-jenis pembebanan

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun yang menjadi tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui presentase ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada trafo
2. Untuk mengetahui besarnya losses yang di timbulkan karena ketidakseimbangan beban pada trafo

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun yang menjadi manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral
2. Memberikan informasi losses yang ditimbulkan karena ketidakseimbangan beban
3. Menambah wawasan dalam pengetahuan transformator
4. Sebagai bahan acuan untuk mahasiswa Fakultas Teknik lainnya dalam mengetahui ketidakseimbangan dan losses pada trafo daya lainnya

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memberikan gambaran penulisan tugas akhir ini, diuraikan sebagai berikut:

### **BAB 1 : PENDAHULUAN**

Bab ini mencakup latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat serta sistematika penulisan.

### **BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas teori-teori yang merupakan penunjang didalam perencanaan dan tugas akhir.

### **BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bagian bab ini akan dipaparkan tentang lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, data penelitian, jalannya penelitian, jadwal penelitian.

### **BAB 4 : ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN**

Bab ini membahas mengenai analisis berupa data dan hasil dari data yang diteliti.

### **BAB 5 : PENUTUP**

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari penyusunan skripsi ini.

### **Daftar Pustaka**

### **Lampiran**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut timbullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah[4]

Trafo adalah perangkat listrik pasif yang mentransfer energi listrik dari satu rangkaian listrik ke yang lain, atau beberapa rangkaian. Arus yang bervariasi dalam setiap kumparan transformator menghasilkan fluks magnet yang bervariasi dalam inti transformator, yang menginduksi gaya gerak listrik yang bervariasi pada kumparan lain yang melilit pada inti yang sama. Energi listrik dapat ditransfer antara kumparan yang terpisah tanpa koneksi logam (konduktif) antara kedua sirkuit. Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik[3].

Pada penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik terjadi rugi-rugi daya sebesar  $I^2.R$  watt. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan setinggi mungkin. Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi, dengan cara mempergunakan transformator untuk

menaikkan tegangan listrik di pusat pembangkit dari tegangan generator yang biasanya sebesar 20 kV pada awal transmisi ke tegangan saluran transmisi antara 100 kV – 1000 kV, kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran ke tegangan yang lebih rendah.

Trafo yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator distribusi. Di samping itu ada jenis-jenis transformator lain yang banyak dipergunakan dan pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai di rumah tangga untuk menyesuaikan tegangan dari lemari es dengan tegangan yang berasal dari jaringan listrik umum, transformator yang dipakai pada lampu TL dan transformator-transformator “mini” yang digunakan pada berbagai alat elektronika, seperti penerima radio, televisi dan sebagainya[3].

Tegangan listrik yang biasa di hasilkan PLN pada umumnya dapat mencapai puluhan hingga ratusan kilo volt dan kemudian diturunkan menjadi lebih rendah. Transformator yang bekerja memungkinkan akan adanya tegangan, yang sesuai seperti pengiriman daya listrik jarak jauh dalam tegangan tinggi sangat dibutuhkan. Demikian juga halnya pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik dengan membutuhkan arus bolak balik (*AC* atau *Alternatif Current*) yang sangat banyak agar tegangan yang dipilih sesuai dan ekonomis untuk setiap kebutuhannya[3].

## **2.2 Transformator**

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan

yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.[3]

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandingan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain; dan untuk menghambat arus searah melalukan atau mengalirkan arus bolak-balik. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran, yang terdiri dari atas transformator arus dan Transformator tegangan.[3]

Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan.

### **2.2.1 Prinsip Kerja Transformator**

Transformator terdiri atas dua kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibatnya adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual*

*induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, kekuatan medan magnet tersebut dipengaruhi besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listrik semakin besar juga medan magnetnya. Dengan demikian maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan beban[3].

Kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi.

Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.[3]

Dimana :

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \quad (2.1)$$

Dimana :  $E$  = Gaya Gerak Listrik (volt)

$N$  = Jumlah Lilitan

$dt$  = perubahan waktu (detik)

$d\phi$  = fluksi magnetik (weber)

Perlu diingat bahwa hanya tegangan listrik bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronika transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk menghambat

arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian. Tujuan utama menggunakan inti pada transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) rangkaian magnetik[6].

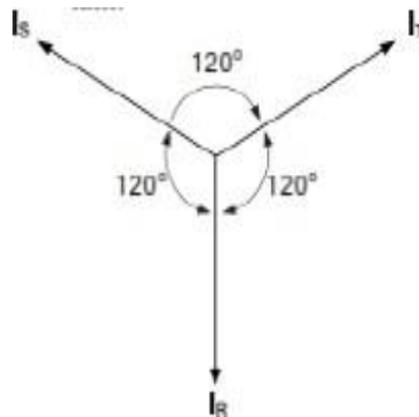
Reluktansi merupakan besarnya fluks magnet yang di hasilkan dalam kumparan yang bergantung pada besaran bahan yang bersifat magnetis. Rangkaian magnetik terdiri dari beberapa bahan yang bersifat magnet yang memiliki permeabilitas atau ukuran kemampuan dan setiap bahan memiliki panjang lintasan tidak sama. Maka setiap bagian mempunyai reluktansi yang berbeda, sehingga reluktansi total adalah jumlah reluktansi dari bagian masing masing[6].

### **2.3 Ketidakseimbangan Beban**

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah[2].

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- Ketiga vektor arus / tegangan adalah sama besar
- Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain, seperti yang terlihat pada gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Dimana beban tiga fasa tahanan yang sama besarnya, besarnya arus saluran  $I_R$   $I_S$   $I_T$  mengalir melalui masing masing elemen apabila salah satu titik fasa di hubungkan dari saluran dengan tahanan beban masing-masing. Dimana ketiga arus penghantar atau arus fasa mempunyai besar yang sama, karena beban dalam hubungan bintang adalah seimbang. Oleh karena itu dalam hal beban keadaan seimbang penghantar netral tidak di aliri arus listrik, maka sistem empat kawat ini dapat disederhanakan menjadi sistem tiga kawat  $I_R$   $I_S$   $I_T$  karena penghantar netral tidak di aliri arus listrik[1].

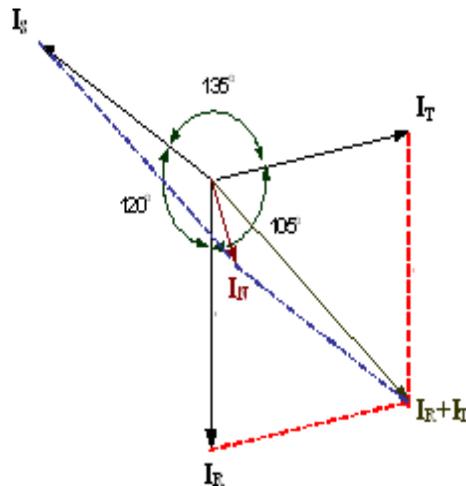
Ini hanya mungkin bila terdapat beban yang seimbang, artinya semua tahanan beban adalah sama besar dan sistem sumber yang bersifat simetris atau sesuai. Dan disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah sama dengan nol dan sudut yang terbentuk adalah  $120^\circ$ , sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain

- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya[5].

Dimana setiap indikasi ketidakseimbangan terlihat arus netral yang seharusnya tidak ada. Disamping itu terlihat urutan fasa tidak mengikuti putaran jarum jam dan arus fasa yang tidak sama besar. dengan adanya fasa kenetral menjadi faktor utama ketidakseimbangan. Yang terlihat bahwa ketiga vektotr tidak membntuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Adapun penyebab ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut :

- Beban yang tidak merata pada sistem distribusi tenaga listrik.
- Beban yang tidak merata dalam sistem beban tenaga listrik.

- Pembagian beban per fasa yang tidak merata.
- Peralatan jaringan listrik yang mengalami kerusakan seperti kapasitor bank yang terbakar, trafo terbakar, hubungan open delt yang rusak dan lain-lain[6].

## 2.4 Arus Netral

Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa empat kawat. Arus netral ini muncul jika :

- Kondisi beban tidak seimbang
- Karena adanya arus harmonisa akibat beban non-linear.

Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris[7].

### 2.4.1 Arus Netral Karena Beban Tidak Seimbang

Untuk arus tiga fasa dari suatu sistem yang tidak seimbang dapat juga diselesaikan dengan menggunakan metode komponen simetris. Dengan menggunakan notasi-notasi yang sama seperti pada tegangan akan didapatkan persamaan-persamaan untuk arus-arus fasanya sebagai berikut :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \quad (2.2)$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \quad (2.3)$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \quad (2.4)$$

Dengan tiga langkah yang telah dijabarkan dalam menentukan tegangan urutan positif, urutan negative, dan urutan nol terdahulu, maka arus arus urutan juga dapat

ditentukan dengan cara yang sama, sehingga kita dapatkan juga :

$$I_1 = 1/3( I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad (2.5)$$

$$I_2 = 1/3( I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.6)$$

$$I_0 = 1/3( I_a + I_b + I_c) \quad (2.7)$$

Di sini terlihat bahwa arus urutan nol ( $I_0$ ) adalah merupakan sepertiga dari arus netral atau sebaliknya akan menjadi nol jika dalam sistem tiga fasa empat kawat. Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, menjadi :

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke (2.8) maka diperoleh :

$$I_N = 3 I_0 \quad (2.9)$$

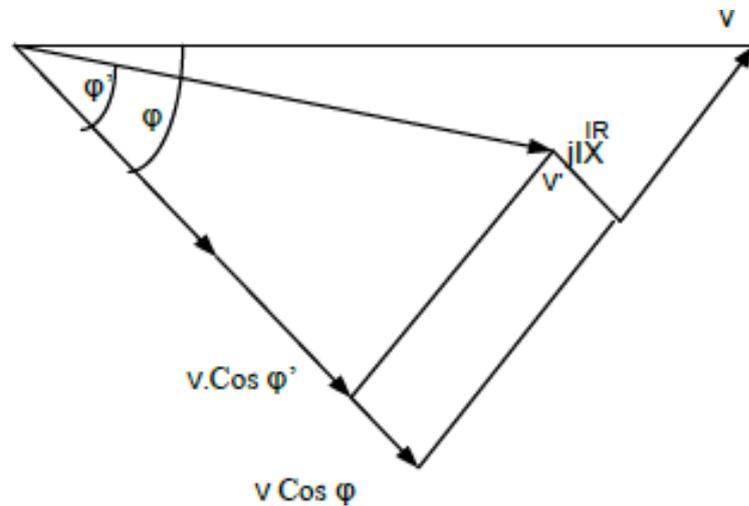
Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus dalam saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral. Jika arus fasa yang tidak seimbang maka arus netralnya tidak bernilai nol atau di aliri arus listrik. Dan begitu sebaliknya jika arus-arus fasanya seimbang maka arus netralnya akan bernilai nol, tapi jika arus-arus fasanya tidak seimbang, maka akan ada arus yang mengalir di kawat netral sistem (arus netral akan mempunyai nilai dalam arti tidak nol)[2].

#### **2.4.2 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Seimbang**

Misalkan daya sebesar  $P$  disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut[6] :

$$P = 3 [V] [I] \cos \phi \quad (2.10)$$

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Penyusutan daya ini dapat diterangkan dengan menggunakan diagram fasor tegangan saluran model fasa tunggal seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 Diagram Fasor Tegangan Saluran Daya Model Fasa Tunggal

Model ini dibuat dengan asumsi arus pemusatan kapasitif pada saluran cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian besarnya arus ujung kirim sama dengan arus di ujung terima. Apabila tegangan dan faktor daya pada ujung terima berturut-turut adalah  $V'$  dan  $\phi'$ , maka besarnya daya pada ujung terima adalah :

$$P' = 3 [V'] [I] \cos \phi' \quad (2.11)$$

Selisih antara P pada persamaan (2.10) dan  $P'$  pada persamaan (2.11) memberikan susut daya saluran, yaitu :

$$Pl = P - P' \quad (2.12)$$

$$= 3 [V] [I] \cos \phi - 3 [V'] [I] \cos \phi' \quad (2.13)$$

$$= 3 [I] \{ [V] \cos \phi - [V'] \cos \phi' \} \quad (2.14)$$

Sementara itu dari Gambar 2.3 memperlihatkan bahawa :

$$\{ [V] \cos \phi - [V'] \cos \phi' \} = [I] R \quad (2.15)$$

Dengan  $R$  adalah tahanan kawat penghantar tiap fasa, oleh karena itu persamaan (2.15) berubah menjadi :

$$Pl = 3 [I^2] R \quad (2.16)$$

### 2.4.3 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Tidak Seimbang

Jika  $[I]$  adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar  $P$  pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi tidak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah sebagai berikut :

$$[I_R] = a[I] \quad (2.17)$$

$$[I_S] = b[I] \quad (2.18)$$

$$[I_T] = c[I] \quad (2.19)$$

Dengan  $I_R$ ,  $I_S$ , dan  $I_T$  berturut adalah arus fasa R, S dan T. Telah disebutkan di atas bahwa faktor daya ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda-beda. Dengan anggapan seperti ini besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a+ b+c) [V] [I] \cos \varphi \quad (2.20)$$

Apabila persamaan (2.19) dan persamaan (2.20) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan tersebut dapat diperoleh persyaratan koefisien  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah :

$$a + b + c = 3 \quad (2.21)$$

Dengan anggapan yang sama, arus yang mengalir di penghantar netral dapat dinyatakan sebagai :

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (2.22)$$

$$= [I] \{ a + b \cos (-120) + j.b.\sin (-120) + c.\cos (-120) + j.c.\sin (120) \} \quad (2.23)$$

$$= [I] \{ a - (b + c) / 2 + j. (c - b) \sqrt{3} / 2 \} \quad (2.24)$$

Susut daya saluran adalah jumlah susut pada penghantar fasa dan penghantara netral adalah :

$$Pl' = \{ [I_R^2] + [I_S^2] + [I_T^2] \cdot R + [I_N^2] \cdot R_N \quad (2.25)$$

$$= (a^2 + b^2 + c^2) [I]^2 R + (a^2 + b^2 + c^2 - ab - ac - bc) [I_N]^2 \cdot R_N \quad (2.26)$$

Dengan  $R_N$  adalah tahanan penghantar netral.

Apabila persamaan (2.25) disubstitusikan ke persamaan (2.26) maka akan diperoleh :

$$Pl' = \{ 9 - 2(ab + ac + bc) [I]^2 R + (9 - 3(ab + ac + bc)) [I_N]^2 \cdot R_N \quad (2.27)$$

Persamaan (2.27) ini adalah persamaan susut daya saluran untuk saluran dengan penghantar netral. Apabila tidak ada penghantar netral maka kedua ruas kanan akan hilang sehingga susut daya akan menjadi :

$$Pl' = \{ 9 - 2(ab + ac + bc) [I]^2 R \quad (2.28)[3]$$

## 2.5 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah gambaran dari daya semu, daya reaktif dan daya aktif. Dimana segitiga daya bersifat induktif dengan sudut antara daya semu dan daya aktif adalah  $\phi$ [1]

### 2.5.1 Daya Kompleks

Perkalian tegangan  $V$  dengan arus  $I$  dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan kompleks adalah  $V \cdot I$  yang dinamakan daya kompleks dengan simbol  $S$ , dalam satuan *Volt Ampere (VA)*, *Kilo Volt Ampere (KVA)*, *Mega Volt Ampere (MVA)*[1].

### 2.5.2 Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan  $S \cos \varphi$  atau  $V.I \cos \varphi$  dengan simbol  $P$ , dalam satuan *Watt (W)*, *Kilo Watt (KW)*, *Mega Watt (MW)*[1].

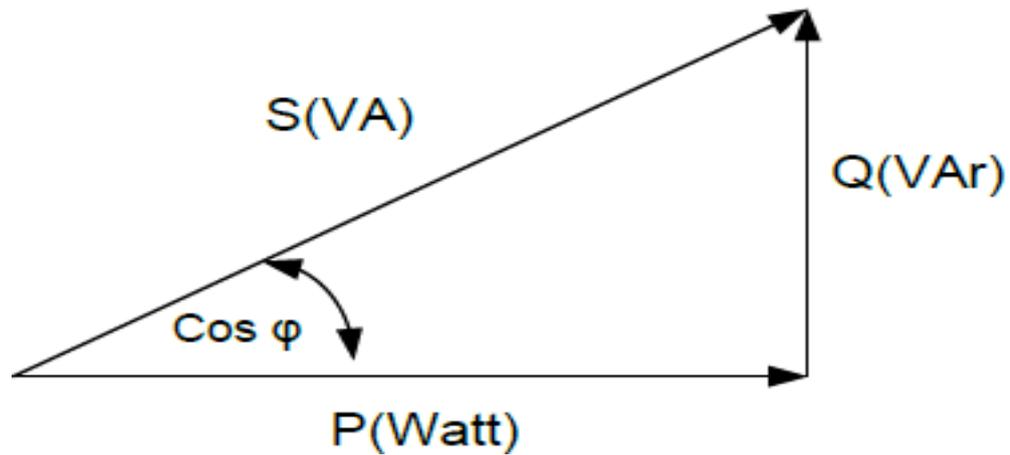
### 2.5.3 Daya Reaktif

Daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan  $S \sin \varphi$  atau  $V.I \sin \varphi$  dengan simbol  $Q$ , dalam satuan *Volt Ampere Reaktif (VAR)*, *Kilo Volt Ampere Reaktif (KVAR)*, *Mega Volt Amper Reaktif (MVAR)*[1].

## 2.6 Faktor Daya

Pengertian faktor daya ( $\cos \varphi$ ) adalah perbandingan antara daya aktif ( $P$ ) dan daya semu( $S$ ). Dari pengertian tersebut, faktor daya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor daya} &= (\text{Daya Aktif} / \text{Daya Semu}) \\ &= (P / S) \\ &= (V.I. \cos \varphi / V.I) \\ &= \cos \varphi \end{aligned}$$



Gambar 2.4 Segitiga Daya

$$\text{Daya Semu} = V.I \text{ (VA)} \quad (2.29)$$

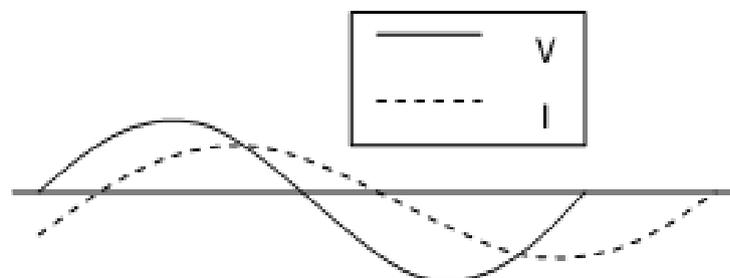
$$\text{Daya Aktif} = V.I \cos \varphi \text{ (Watt)} \quad (2.30)$$

$$\text{Daya Reaktif} = V.I \sin \varphi \text{ (VAr)} \quad (2.31)$$

### 2.6.1 Faktor Daya Terbelakang (*Lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut [11]:

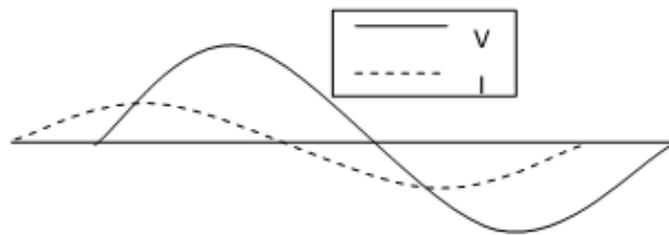
1. Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut  $\varphi$

Gambar 2.5 Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut  $\varphi$

### 2.6.2 Faktor Daya Mendahului (*Leading*)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut[11]:

1. Beban/peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif
2. Arus mendahului tegangan,  $V$  terbelakang dari  $I$  dengan sudut  $\phi$



Gambar 2.6 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut  $\phi$

### 2.7 Losses Pada Jaringan Distribusi

Yang dimaksud losses adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan ( $P_S$ ) dengan energi listrik yang terpakai ( $P_P$ )

$$\text{Losses} = (P_S - P_P) / P_S \quad (2.32)$$

Dimana :

$P_S$  = Energi yang disalurkan (watt)

$P_P$  = Energi yang dipakai (watt)

### 2.7.1 Losses Pada Penghantar Fasa

Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi menjadi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi. Rugi-rugi dengan beban terpusat di ujung dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) l \quad (2.33)$$

$$\Delta P = 3 I^2 R l \quad (2.34)$$

Dimana :

$I$  = Arus per fasa (Ampere)

$R$  = Tahanan pada penghantar

(*Ohm / km*)  $X$  = Reaktansi pada penghantar (Ohm / km)

$\cos \varphi$  = Faktor daya beban

$l$  = Panjang penghantar (km)

### 2.7.2 Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral

Akibat pembebanan di tiap fasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika di hantaran pentanahan netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral sebesar :

$$P_N = I_N^2 R_N \quad (2.35)$$

Dimana :

$P_N$  = *Losses* yang timbul pada penghantar netral (watt)

$I_N$  = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

$R_N$  = Tahanan pada kawat netral (*Ohm*)

### 2.7.3 Losses Akibat Adanya Arus Netra Yang Mengalir Ke Tanah

Losses ini terjadi karena adanya arus netral yang mengalir ke tanah. Besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 R_G \quad (2.36)$$

Dimana :

$P_G$  = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

$I_G$  = Arus netral yang mengalir ke tanah (Ampere)

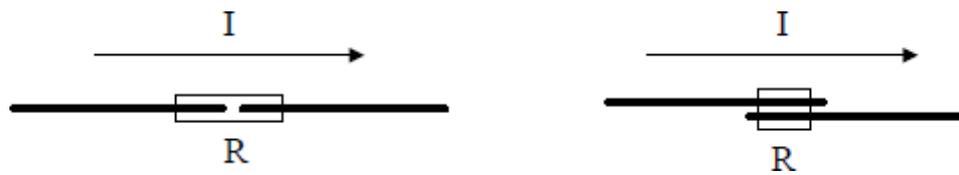
$R_G$  = Tahanan pembumian netral trafo (*Ohm*)

### 2.7.4 Losses Pada Sambungan Tidak baik

Losses ini terjadi karena di sepanjang jaringan tegangan rendah terdapat beberapa sambungan antara lain :

1. Sambungan saluran jaringan tegangan rendah dengan kabel NYFGBY.
2. Percabangan saluran jaringan tegangan rendah.
3. Percabangan untuk sambungan pelayanan.

Sambungan kabel terlihat seperti gambar 2.5 di bawah ini :



Gambar 2.7 Sambunagan Kabel

Besarnya rugi-rugi daya pada sambungan dirumuskan :

$$P = I^2 R \quad (2.37)$$

Dimana :

$P$  = Losses yang timbul pada Konektor (Watt)

$I$  = arus yang mengalir melalui konektor (Ampere)

$R$  = Tahanan konektor (Ohm)

## 2.8 Persamaan-persamaan yang Digunakan dalam Perhitungan

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada transformator distribusi adalah sebagai berikut :

### 2.8.1 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat

Telah diketahui bahwa daya transformator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2.38)$$

Dimana :

$S$  = Daya Transformator (kVA)

$V$  = Tegangan Sisi Primer Transformator (kV)

$I$  = Arus Jala-jala (A)

Dengan demikian untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} V} \quad (2.39)$$

$I_{FL}$  = Arus Beban Penuh (A)

$S$  = Daya Transformator (kVA)

$V$  = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

Sedangkan untuk menghitung arus hubung singkat pada transformator digunakan rumus :

$$I_{SC} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \sqrt{3} V} \quad (2.40)$$

Dimana :

$I_{SC}$  = Arus Hubung Singkat (A)

$S$  = Daya Transformator (kVA)

$V$  = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

$\%Z$  = Persen Impedansi Transformator

Dengan demikian untuk menghitung persentase pembebanannya adalah sebagai berikut :

$$\%b = \frac{I_{ph}}{I_{FL}} 100 \quad (2.41)$$

Dimana :

% b = Persentase Pembebanan

$I_{ph}$  = Arus Fasa (A)

$I_{FL}$  = Arus Beban Penuh (A)

### 2.8.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{Rata-rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} \quad (2.42)$$

Dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a, b dan c diperoleh dengan :

$$a = \frac{IR}{I} \quad (2.43)$$

$$b = \frac{IS}{I} \quad (2.44)$$

$$c = \frac{IT}{I} \quad (2.45)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$= \frac{\{[a-1] + [b-1] + [c-1]\}}{3} 100\% \quad (2.46)$$

### 2.8.3 Perhitungan Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S dan fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi)[2].

Dan losses pada penghantar netral dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 R_N \quad (2.47)$$

$P_N =$  Losses yang timbul pada penghantar netral (watt)

$I_N =$  Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

$R_N =$  Tahanan pada kawat netral ( $\Omega$ )

#### **2.8.4 Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah**

Losses ini terjadi karena adanya arus netral yang mengalir ke tanah., Besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 R_G \quad 2.48)$$

$P_G =$  losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

$I_G =$  Arus netral yang mengalir ke tanah (Ampere)

$R_G =$  Tahanan pembumian netral trafo ( $\Omega$ ) [2]

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dalam tugas akhir ini yaitu pada Trafo Distribusi di PT.PLN

(Persero) ULP Labuhan dapat di lihat pada tabel 3.1 di bawah ini :

No	Tgl / Bulan / Tahun	Pukul	Uraian	Keterangan
1	19 Desember 2019	11.00- 12.00	Melakukan pengukuran pada trafo 200 kVA dan mencatat/foto hasil alat ukur Tank Ampere dan Earth Tester	Trafo Distribusi 200 kVA jln.Pasar 2 Barat Marelan
2	19 Desember 2019	20.00-21.00	Melakukan pengukuran pada trafo 200 kVA dan mencatat/foto hasil alat ukur Tank Ampere dan Earth Tester	Trafo Distribusi 200 kVA jln.Pasar 2 Barat Marelan

#### 3.2 Peralatan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut;

1. Tank Ampere, digunakan sebagai alat ukur arus listrik tanpa memutus jalur listrik, alat ukur voltase atau alat ukur nilai tahanan.



Gambar.3.1 Tang Ampere

2. Earth Tester, digunakan sebagai alat untuk mengukur nilai resistansi dari grounding dan mengetahui besar tahanan tanah.



Gambar 3.2 Earth Tester

3. Buku catatan atau handphone untuk mencatat atau foto nilai selama pengukuran.



Gambar 3.3 Handphone Dan Buku

4. Laptop, digunakan sebagai pembuatan/edit file ataupun gambar dalam penelitian.



Gambar 3.4 Laptop

### **3.3 Jenis Data Penelitian**

#### **3.3.1 Studi Literatur**

Tahapan ini mempelajari teori-teori dasar yang menunjang jalannya penelitian ini, pengumpulan data-data ini diambil dari kantor-kantor instansi pemerintah atau lembaga penelitian atau studi yang telah ada sebelumnya. Data tersebut berupa buku-buku makalah atau laporan.

### 3.3.2 Pengumpulan Data Materi

Pada tahapan pengumpulan data materi ini, penulis akan terjun langsung ke lokasi atau tempat penelitian berlangsung, untuk mengambil data-data yang dibutuhkan. Penulis akan melakukan pengukuran pada trafo distribusi serta mengumpulkan data-data pendukung dari pihak tempat penelitian.

#### 3.3.2.1 Data Teknis Trafo Distribusi 200 kVA

Tabel 3.2. Trafo Distribusi 200 kVA PT.PLN (Persero) Rayon Labuhan

Nama Pabrik Trafo	SECHNEDER
Daya	200 Kva
Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	20
Tegangan Sekunder L-L (Volt)	380
Arus Primer (Amp)	5.8
Arus Sekunder (Amp)	303.9
Vektor Group	Yzn5
Impedansi (%)	4
Kabel Incoming	NYFGBY 95 mm <sup>2</sup>
Kabel Outgoing	TIC 70 mm <sup>2</sup>

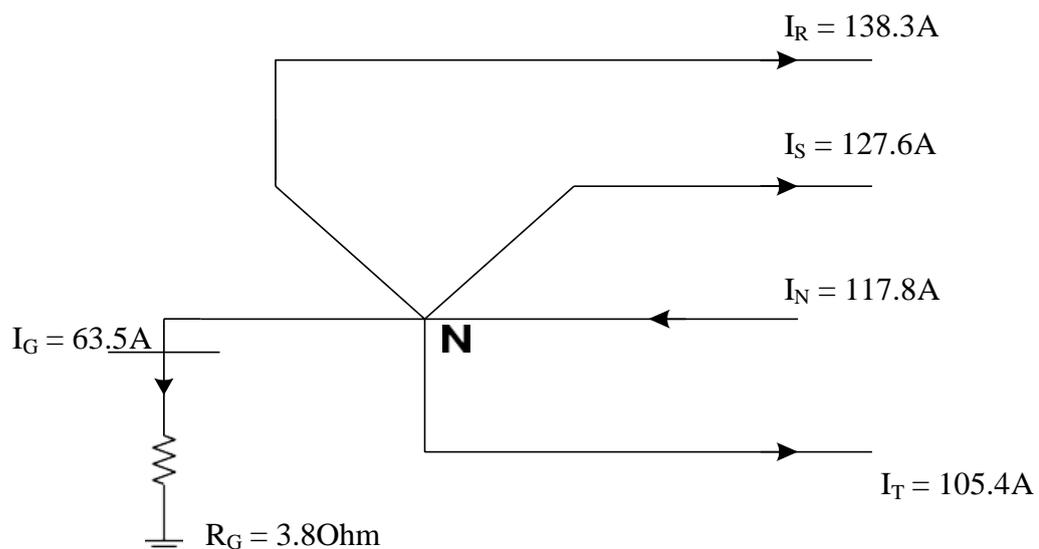
#### 3.3.2.2 Pengukuran Trafo Distribusi 200 kVA

Tabel 3.3. Hasil Pengukuran Trafo Distribusi 200 kVA

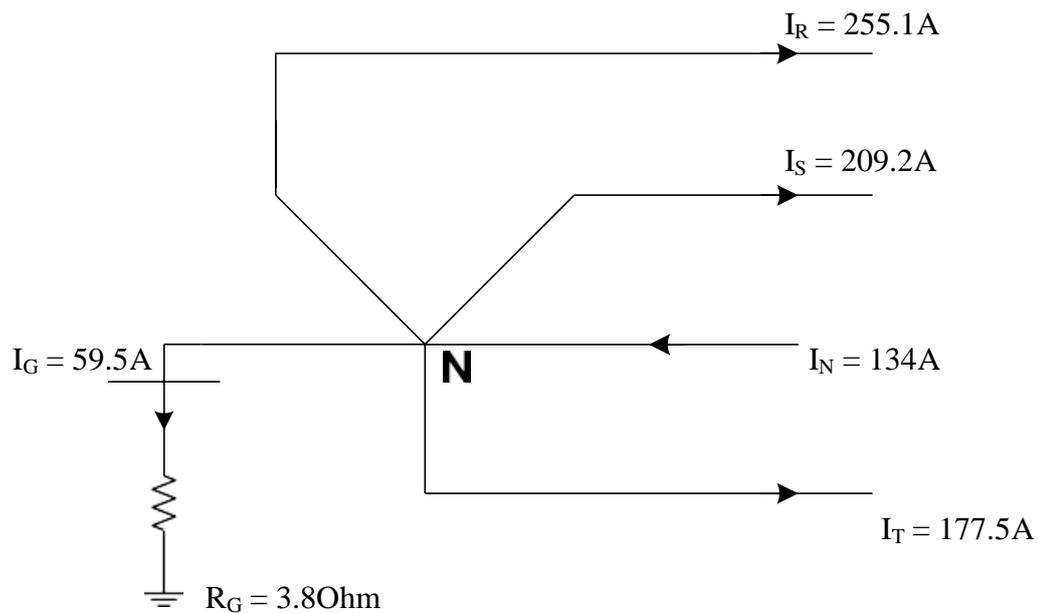
Fasa	S (kVA)	Vp-n (V)	I (A)	Cos $\phi$
Pengukuran pada siang hari				
R	31.25	226	138.3	0.85
S	28.83	226	127.6	0.84
T	23.92	227	105.4	0.85
$I_N$	117.8 A			
$I_G$	63.5 A			
$R_G$	3.8 $\Omega$			
Pengukuran pada malam hari				
R	58.67	230	255.1	0.84
S	48.11	230	209.2	0.85
T	41.02	231	177.5	0.85
$I_N$	134 A			
$I_G$	59.5 A			
$R_G$	3.8 $\Omega$			

Ukuran kawat untuk penghantar netral trafo adalah 50 mm<sup>2</sup> dengan  $R = 0,6042 \Omega$  / km. Sedangkan untuk penghantar fasanya 70mm<sup>2</sup> dengan  $R = 0.5049 \Omega$  /km.

Skema aliran arus di sisi skunder trafo pada siang hari



### Skema aliran arus di sisi skunder trafo pada malam hari



### 3.3.3 Perhitungan

Penulis akan melakukan perhitungan berdasarkan hasil pengukuran dan data-data acuan mengenai materi-materi yang diangkat dalam Penelitian berikut.

- Untuk menentukan besarnya Fuse Cut Out
- Untuk menentukan besarnya NH Fuse
- Besar arus hubung singkat (*short circuit*)
- Untuk menentukan rata-rata persentase pembebanannya
- Analisa Ketidakseimbangan beban pada trafo
- Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo
- Analisa Losses Akibat Arus Netral Yang Mengalir ke tanah

### 3.3.4 Penyusunan Laporan

Tahapan ini merupakan proses akhir dari penelitian, yang meliputi penjelasan hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan metode dan prosedur yang digunakan, penarikan kesimpulan, pemberian saran dalam bentuk laporan.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang harus diketahui dalam melaksanakan suatu penelitian antara lain sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
2. Mengukur arus setiap fasa, tegangan fasa ke netral, arus netral, arus grounding menggunakan tang ampere.
3. Mengukur tahanan grounding menggunakan earth tester.
4. Setelah di ukur, menyalin setiap nilai yang di hasilkan kedalam buku catatan penelitian.
5. Kemudian setelah selesai melakukan pengukuran, lepas kembali semua alat dan bahan yang digunakan dan merapikannya.
6. Selesai.

### 3.5 Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

1. Menentukan tema permasalahan yang akan diteliti dengan cara melakukan studi pustaka guna memperoleh berbagai teori-teori dan konsep yang akan mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.
2. Mencari data dari pengukuran pada trafo distribusi menggunakan beberapa jenis alat sehingga didapatkan data yang dibutuhkan untuk diolah pada bab selanjutnya.

### 3.6 Sumber Data

Data-data yang diperlukan dalam proses pembuatan laporan ini diperoleh dari:

- **Observasi**

Pengambilan data yang sesuai dengan lokasi penelitian untuk selanjutnya di analisis.

- **Wawancara**

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal – hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing lapangan.

- **Studi Pustaka**

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku dan jurnal terkini sesuai dengan penelitian yang dilakukan serta mencari data yang diperlukan mengenai hal-hal atau materi yang dianalisa.

- **Bimbingan**

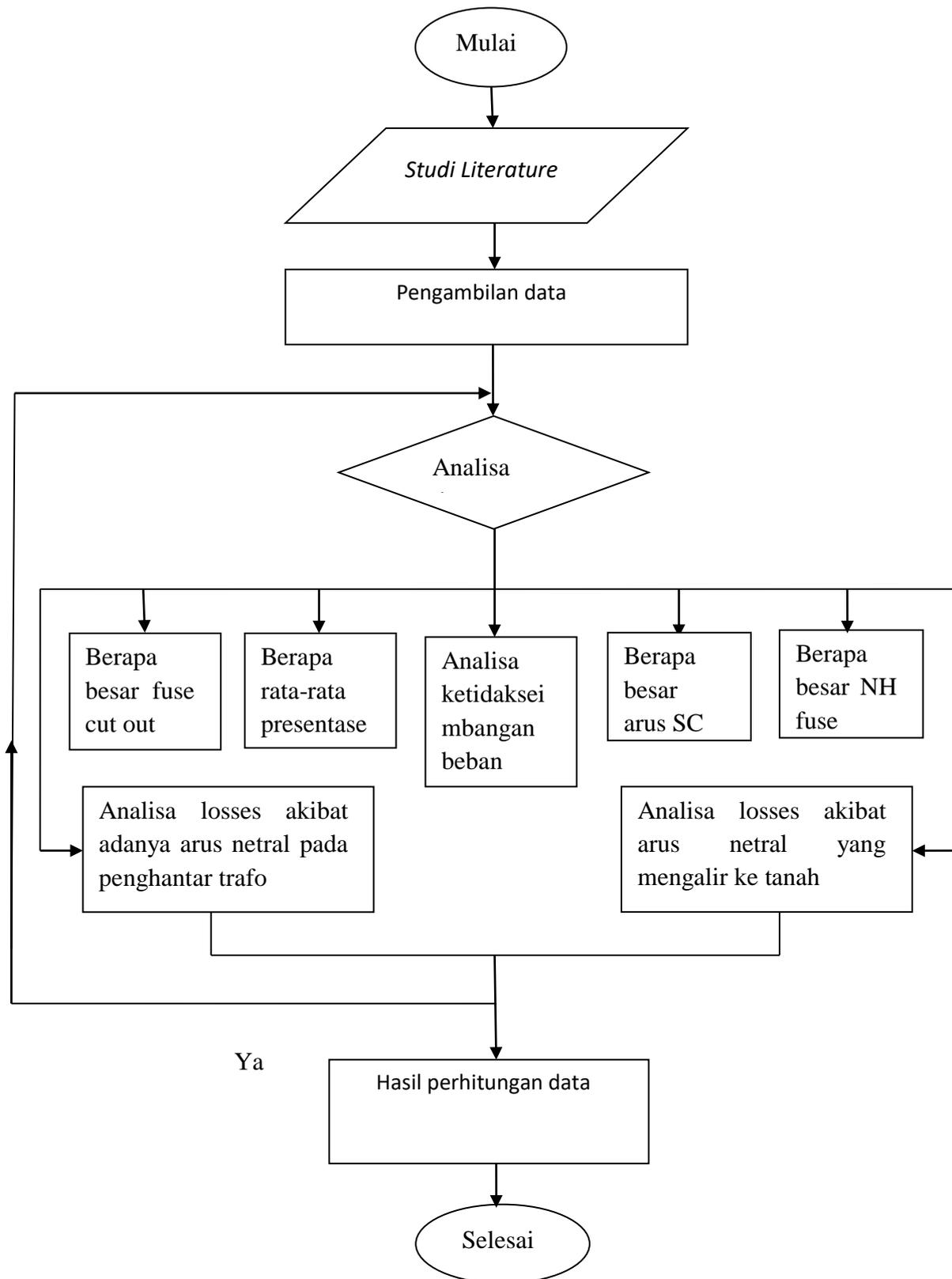
Metode ini dilakukan dengan cara meminta bimbingan untuk hal yang berkaitan dengan analisa dari penelitian ini dari pembimbing, baik dosen maupun di pembimbing di lapangan.

### 3.7 Teknik Analisa Data

1. Melakukan Pengambilan data di lokasi dengan cara melakukan beberapa pengukuran
2. Melakukan beberapa analisa perhitungan seperti di bawah
  - Analisa Pembebanan Trafo
  - Menentukan persentasi pembebanan
  - Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo
  - Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo
  - Analisa Losses Akibat Arus Netral Yang Mengalir ke tanah
3. Menyimpulkan Hasil dari analisa

Alasan dari penggunaan teknik analisis data ini adalah agar hasil penelitian yang di peroleh maksimal dan akurat

### 3.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.5 Flowchart Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Data

##### 4.1.1 Menentukan Fuse Cut Out

Untuk menentukan besarnya Fuse Cut Out maka terlebih dahulu kita menghitung besarnya arus jala-jala dengan menggunakan persamaan (2.38) dan berdasarkan data pada tabel (3.2), adalah sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$200 \text{ kVA} = \sqrt{3} \cdot 20 \text{ KV} \cdot I$$

$$I = \frac{200 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ KV}}$$

$$I = 5.8 \text{ A}$$

Fuse Cut Out yang dipilih sesuai SPLN adalah Fuse Link Type dengan rating 6A.

##### 4.1.2 Menentukan NH Fuse

Untuk menentukan besarnya NH Fuse maka harus dihitung besarnya arus beban penuh (*full load*) dengan menggunakan persamaan (2.39) dan berdasarkan data pada tabel (3.2), adalah sebagai berikut:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$I_{FL} = \frac{200 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V}}$$

$$I_{FL} = 303.87 \text{ A}$$

NH Fuse yang dipilih sesuai SPLN adalah NH Fuse dengan rating 315A untuk

jurusan utama atau (incoming).

#### 4.1.3 Menentukan Arus Hubung Singkat

Besar arus hubung singkat (*shortcircuit*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.40) dan berdasarkan data pada tabel (3.2) adalah sebagai berikut :

$$I_{SC} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \cdot \sqrt{3} \cdot V}$$

$$I_{SC} = \frac{200kVA \cdot 100}{4 \sqrt{3} 380V}$$

$$I_{SC} = 7596.71 \text{ A}$$

#### 4.1.4 Menentukan Persentase Pembebanan

##### 1. Pengukuran Siang Hari

Untuk menentukan rata-rata persentase pembebanannya, terlebih dahulu kita hitung persentase pembebanan per fasa, menggunakan persamaan (2.41) dan berdasarkan data pada tabel (3.3) adalah :

$$\%b = \frac{I_{Ph}}{I_{FL}} 100$$

$$I_R = 138.3$$

$$I_S = 127.6$$

$$I_T = 105.4$$

$$\% bR = \frac{138.3}{303.87} 100$$

$$\% bR = 45.51\%$$

$$\% bS = \frac{127.6}{303.87} 100$$

$$\% bS = 41.99\%$$

$$\% bT = \frac{105.4}{303.87} 100$$

$$\% bT = 34.68\%$$

Jadi rata-rata persentase pembebanannya adalah :

$$\% b_{\text{Rata-rata}} = \frac{\% bR + \% bS + \% bT}{3}$$

$$\% b_{\text{Rata-rata}} = \frac{45.51 + 41.99 + 34.68}{3}$$

$$\% b_{\text{Rata-rata}} = 40.72 \%$$

## 2. Pengukuran Malam Hari

Untuk menentukan rata-rata persentase pembebanannya, terlebih dahulu kita hitung persentase pembebanan per fasa, menggunakan persamaan (2.41) dan berdasarkan data pada tabel (3.3) adalah :

$$\% b = \frac{I_{Ph}}{I_{FL}} 100$$

$$I_R = 255.1$$

$$I_S = 209.2$$

$$I_T = 177.5$$

$$\% bR = \frac{255.1}{303.87} 100$$

$$\% bR = 83.95\%$$

$$\% bS = \frac{209.2}{303.87} 100$$

$$\% bS = 68.84 \%$$

$$\% bT = \frac{177.5}{303.87} 100$$

$$\% bT = 58.41\%$$

Jadi rata-rata persentase pembebanannya adalah :

$$\% b_{\text{Rata-rata}} = \frac{\% bR + \% bS + \% bT}{3}$$

$$\% b_{\text{Rata-rata}} = \frac{83.95 + 68.84 + 58.41}{3}$$

$$\% b_{\text{Rata-rata}} = 70.43\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa persentase pembebanan untuk kawasan Jln.Pasar 2 Barat Marelان Rayon Labuhan lebih tinggi terjadi pada malam hari.

#### 4.1.5 Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo

##### 1. Pada siang hari

Dengan menggunakan persamaan (2.42) dan dengan berdasarkan data pada tabel

(3.3) kita dapat menentukan arus rata-rata sebagai berikut :

$$I_R = 138.3$$

$$I_S = 127.6$$

$$I_T = 105.4$$

$$I_{\text{Rata-Rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{Rata-Rata} = \frac{138.3 + 127.6 + 105.4}{3}$$

$$I_{Rata-Rata} = 123.76$$

Dengan demikian dengan menggunakan persamaan (2.43), (2.44) dan (2.45) koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang, (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ( $I_{Rata-rata}$ )

$$I_R = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{138.3}{123.76}$$

$$a = 1.12$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{127.6}{123.76}$$

$$b = 1.03$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{105.4}{123.76}$$

$$c = 0.85$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) dengan menggunakan persamaan (2.46) adalah :

$$\begin{aligned} &= \frac{\{[a-1]+[b-1]+[c-1]\}}{3} 100 \\ &= \frac{\{[1.12-1]+[1.03-1]+[0.85-1]\}}{3} 100 \\ &= \frac{\{[0.12]+[0.03]+[0.15]\}}{3} \\ &= 10 \% \end{aligned}$$

## 2. Pada malam hari

Dengan menggunakan persamaan (2.42) dan dengan berdasarkan data pada tabel (3.3) kita dapat menentukan arus rata-rata sebagai berikut :

$$I_R = 255.1$$

$$I_S = 209.2$$

$$I_T = 177.5$$

$$I_{Rata-Rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_{Rata-Rata} = \frac{255.1 + 209.2 + 177.5}{3}$$

$$I_{Rata-Rata} = 213.93$$

Dengan demikian dengan menggunakan persamaan (2.43), (2.44) dan (2.45) koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang, (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ( $I_{Rata-rata}$ )

$$I_R = a \cdot I \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{255.1}{213.93}$$

$$a = 1.19$$

$$I_S = b \cdot I \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{209.2}{213.93}$$

$$b = 0.98$$

$$I_T = c \cdot I \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{177.5}{213.93}$$

$$c = 0.83$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1.

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) dengan menggunakan persamaan (2.46) adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\{[a-1]+[b-1]+[c-1]\}}{3} 100 \\
 &= \frac{\{[1.19-1]+[0.98-1]+[0.83-1]\}}{3} 100 \\
 &= \frac{\{[0.19]+[0.02]+[0.17]\}}{3} \\
 &= 12.67 \%
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa baik pada siang hari maupun malam hari, ketidakseimbangan beban cukup tinggi (>10%), hal ini disebabkan karena penggunaan beban yang tidak merata di antara konsumen.

#### 4.1.6 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo

##### 1. Pada Siang hari

Berdasarkan data pada tabel pengukuran (3.3), dan dengan menggunakan persamaan (2.47), *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$P_N = I_N^2 R_N$$

$$P_N = (117.8)^2 \cdot 0.6042$$

$$P_N = 8384.38 \text{ Watt}$$

$$P_N = 8.38 \text{ kW}$$

dimana daya aktif trafo (P) :

$$P = S \cdot \cos \phi, \text{ dimana } \cos \phi \text{ yang digunakan adalah } 0,85$$

$$P = 200 \cdot 0,85$$

$$P = 170 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada siang hari adalah :

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} 100$$

$$\% P_N = \frac{8,38 \text{ kW}}{170 \text{ kW}} 100$$

$$\% P_N = 4,93 \%$$

## 2. Pada Malam hari

Berdasarkan data pada tabel pengukuran (3.3), dan dengan menggunakan persamaan (2.47), *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu :

$$P_N = I_N^2 R_N$$

$$P_N = (134)^2 \cdot 0,6042$$

$$P_N = 10849,01 \text{ Watt}$$

$$P_N = 10,84 \text{ kW}$$

dimana daya aktif trafo (P) :

$$P = S \cdot \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,85$$

$$P = 200 \cdot 0,85$$

$$P = 170 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

pada malam hari adalah :

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} 100$$

$$\% P_N = \frac{10.84 \text{ kW}}{170 \text{ kW}} 100$$

$$\% P_N = 6.38 \%$$

#### 4.1.7 Analisa Losses Akibat Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah

##### 1. Pada Siang hari

Berdasarkan data pada tabel pengukuran (3.3), dan dengan menggunakan persamaan (2.48), *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$P_G = (63.5)^2 \cdot 3.8$$

$$P_G = 15322.55 \text{ Watt}$$

$$P_G = 15.32 \text{ kW}$$

dimana daya aktif trafo (P) :

$$P = S \cdot \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,85$$

$$P = 200 \cdot 0,85$$

$$P = 170 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah pada siang hari adalah :

$$\% P_G = \frac{P_G}{P} 100$$

$$\% P_G = \frac{15.32 \text{ kW}}{170 \text{ kW}} 100$$

$$\% P_G = 9.01 \%$$

## 2. Pada Malam hari

Berdasarkan data pada tabel pengukuran (3.3), dan dengan menggunakan persamaan (2.48), *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya, yaitu:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$P_G = (59.5)^2 \cdot 3.8$$

$$P_G = 13452.95 \text{ Watt}$$

$$P_G = 13.45 \text{ kW}$$

dimana daya aktif trafo (P) :

$$P = S \cdot \cos \varphi, \text{ dimana } \cos \varphi \text{ yang digunakan adalah } 0,85$$

$$P = 200 \cdot 0,85$$

$$P = 170 \text{ kW}$$

Sehingga, persentase *losses* akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah pada malam hari adalah :

$$\% P_G = \frac{P_G}{P} 100$$

$$\% P_G = \frac{13.45 \text{ kW}}{170 \text{ kW}} 100$$

$$\% P_G = 7.91 \%$$

Tabel 4.1 *Losses* pada Trafo Distribusi 200 kVA

$R_N$ ( $\Omega$ )	Waktu	Ketidaksi imbangan Beban ( % )	$I_N$ ( A )	$I_G$ ( A )	$P_N$ (kW )	$P_N$ ( % )	$P_G$ (kW)	$P_G$ ( % )
0,6842 (50 mm <sup>2</sup> )	Siang	10.00	117.8	63.5	8.38	4.93	15.32	9.01
	Malam	12.67	134.0	59.5	10.84	6.38	13.45	7.91
0,5049 (70 mm <sup>2</sup> )	Siang	10.00	117.8	63.5	7.01	4.12	15.32	9.01
	Malam	12.67	134.0	59.5	9.06	5.32	13.45	7.71

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo ( $I_N$ ) maka semakin besar losses pada penghantar netral trafo ( $P_N$ ). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah ( $I_G$ ), maka semakin besar losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah ( $P_G$ ).

Dengan demikian semakin besar arus netral dan losses di trafo maka efisiensi trafo menjadi turun. Bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama dengan kawat penghantar fasanya (70 mm<sup>2</sup>) maka losses arus netralnya akan turun.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Dari pembahasan pada bab-bab sebelumnya maka penulis mengambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Presentase ketidakseimbangan beban pada trafo 200 KVA sesuai dengan perhitungan diperoleh
  - a. Pada Siang hari sebesar 10%
  - b. Pada Malam hari sebesar 12.67%
2. Adapun besarnya Losses karena ketidak seimbangan beban pada trafo 200 KVA yaitu :
  - 2.1 Besarnya losses akibat arus yang mengalir pada penghantar netral trafo 200 KVA berdasarkan perhitungan adalah :
    - a. Pada Siang hari sebesar 4.93% atau 8.38 kW
    - b. Pada Malam hari sebesar 6.38% atau 10.38 kW
  - 2.2 Besarnya Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah berdasarkan perhitungan adalah :
    - a. Pada Siang hari sebesar 9.01% atau 15.32 kW
    - b. Pada Malam hari sebesar 7.91% atau 13.45 kW

#### **5.2 SARAN**

Pada penulisan ini terdapat saran untuk memperbaiki penelitian selanjutnya, yaitu pada saat terjadi ketidak seimbangan beban akan menimbulkan arus yang mengalir pada kawat netral yang akan berdampak pada kerugian finansial. Pada penelitian selanjutnya di

harapkan dapat lebih baik lagi dalam penyusunan dan lebih mendalami tentang penelitian yang di tulis.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Barlian, T., Cekdin, C., 2013. Transmisi Daya Listrik, Yogyakarta: C.V.Andi Offset.
2. Hutahuruk, T.S., 1996. Transmisi Daya Listrik, Jakarta: Penerbit Erlangga.
3. Drs. Sumanto, MA “ Teori Transformator, 1996
4. Hadi, Abdul, “Sistem Distribusi Daya Listrik”, Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
5. Kadir, Abdul, “Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik”, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2000
6. Badaruddin “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Proyek Rusunawi Gading Icon” Jurnal Teknik Elektro (JTE),2012
7. Siregar, Rizky.S dan Harahap, Raja “Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban, 2017.
8. Lumbanraja, Hotdes “Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Hubungan Open-Delta, 2008”.
9. Eryuhanggoro Yugi. Perancangan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban 18.956 kW/ 6600 V, Menggunakan Kapasitor Bank di PT. Indorama Ventures Indonesia[Tugas Akhir]. Jakarta:2013.
10. <http://jualhioki.wordpress.com/2016/03/05/ketidakseimbangan-tegangan-power-quality-basic/>